

Sonderdruck aus  
ZEITSCHRIFT FÜR  
EXPERIMENTELLE UND ANGEWANDTE  
PSYCHOLOGIE

Organ der Deutschen Gesellschaft für Psychologie

Heft 1 / Band XXXIX

1. Quartal 1992

---

VERLAG FÜR PSYCHOLOGIE · DR. C. J. HOGREFE  
GÖTTINGEN · TORONTO · ZÜRICH



## Diskriminationslernen bei rotierten Gesichtern: Eine Markov-Analyse von Kodierungs- und Assoziationsprozessen

Karl-Heinz Bäuml

Institut für Psychologie, Universität Regensburg

Ein Experiment zum Diskriminationslernen wird berichtet, in dem 30 Personen unter jeweils vier Rotationsbedingungen ( $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $180^\circ$ ) Gesicht-Buchstabe-Assoziationen erlernen sollen. In jeder Bedingung wird die Hälfte der Gesichter zweimal präsentiert, einmal aufrecht und einmal in der Frontoparallelen rotiert; die übrigen Gesichter werden nur einmal präsentiert, aufrecht oder rotiert. Der Lernprozeß wird über ein zusammengesetztes Markov-Modell angesetzt, das für die zweimal präsentierten Gesichter getrennt einen Assoziations- und einen Kodierungsprozeß (Zwei-Stufen-Modell) und für die einmal präsentierten Gesichter einen Assoziationsprozeß (Alles-oder-nichts-Modell) annimmt.

Das Markov-Modell kann die Daten für alle vier Rotationsbedingungen beschreiben. Der Rotationswinkel beeinflußt den Lernprozeß für die einmal präsentierten Gesichter nicht. Bei den zweimal präsentierten Gesichtern führt er zu Veränderungen sowohl beim Assoziations- als auch beim Kodierungsprozeß. Die Wirkung des Rotationswinkels läßt sich für die verwendeten Rotationswinkel linear approximieren. Die Ergebnisse weisen darauf hin, daß sich die Kodierung eines rotierten Gesichts in Abhängigkeit dieses Rotationswinkel zunehmend von der eines aufrechten Gesichts unterscheidet. Sie bekräftigen so analoge Folgerungen aus Experimenten zur mentalen Rotation.

### 1. Fragestellung

Unbekannte Gesichter werden invertiert, d. h. auf den Kopf gestellt, deutlich schlechter wiedererkannt als in aufrechter Position. Dieser in zahlreichen Wiedererkennungsexperimenten belegte Befund (Yin, 1969; Scapinello & Yarmey, 1970; Diamond & Carey, 1986) wird als theoretisch relevant für die Gesichtererkennung eingestuft, da er Aufschluß über die Informationsverarbeitung bei Gesichtern geben soll (Yin, 1969; Yin, 1970; Valentine &

Bruce, 1988). Verschiedene Erklärungsansätze des Inversionseffekts wurden bisher vorgeschlagen. So postuliert Rock (1973) etwa die Existenz eines Korrekturmechanismus, der bei Vorgabe disorientierter Wahrnehmungsreize einsetzt. Das Wesen dieses Korrekturmechanismus besteht darin, relevante Merkmale des jeweiligen Reizes einzeln sukzessiv rückzurotieren. Die Korrektur wird so mit der Anzahl der Merkmale zunehmend schwieriger und kann entsprechend zu Wiedererkennungsfehlern führen. Für Gesichter sollte sich dabei eine größere Versagenswahrscheinlichkeit als für merkmalsärmere Reize zeigen (z.B. Rock, 1974; Yin, 1969). Carey und Diamond (1977) postulieren zur Erklärung des Inversionseffekts zwei unterschiedliche Arten von Information, die bei der Wiedererkennung eines aufrechten Gesichts verfügbar sind: Information über Einzelmerkmale und Information über Beziehungen zwischen einzelnen Merkmalen (relationale Merkmale). Sie nehmen an, daß Inversion störend auf die Erkennung relationaler Merkmale wirkt und so das Erkennen eines Gesichts hemmt, während die Erkennung von Einzelmerkmalen im wesentlichen gegen Inversion resistent ist. Dabei sollten Reize um so stärker von einer Inversion beeinflusst werden, je mehr relationale Merkmale sie besitzen (z.B. Yin, 1969; Diamond & Carey, 1986). Im Gegensatz zu Carey und Diamond nehmen Flin (1985) und Goldstein und Chance (1980) an, daß bei Inversion dieselben Merkmale verarbeitet werden wie in aufrechter Position. Trotz gewisser Belege für jeden der einzelnen Ansätze muß der Inversionseffekt bisher als noch ungeklärt eingestuft werden.

Theoretisch ist eine Eingliederung des Inversionseffekts in einen allgemeineren Rotationseffekt erstrebenswert, der die Wirkung beliebiger Rotationen in der Frontoparallelen auf die Gesichtererkennung beschreibt. Eine explizite Theorie hierzu fehlt bisher. Überraschenderweise gibt es auch kaum experimentelle Befunde für mehrere Rotationswinkel. Zwar berichtet Rock (1974) entsprechende Daten aus Wiedererkennungsexperimenten für die Winkelgrade 0, 45, 90 und 180. Er findet eine monotone Abnahme der Wiedererkennungsleistung mit dem Rotationswinkel. Allerdings verwendet er bekannte Gesichter und variiert die Position des Kopfes des Beobachters anstelle des Reizes. Valentine und Bruce (1988) berichten ein Reaktionszeitexperiment zur mentalen Rotation bei Verwendung der Rotationswinkel 0, 45, 90, 135 und 180 Grad. Aufgabe der Versuchsperson ist es dabei, für ein sukzessiv präsentiertes Gesichterpaar — erstes aufrecht, zweites rotiert — die Identität der beiden Gesichter zu beurteilen. Sie finden eine mit dem Rotationswinkel linear ansteigende Reaktionszeit. Dieser Befund wird von den Autoren als Hinweis auf eine mit dem Rotationswinkel zunehmend unterschiedliche Kodierung eines Gesichts gewertet. Weitere experimentelle Befunde für natürliche Gesichter und Rotationswinkel zwischen 0° und 180° scheinen bisher nicht vorzuliegen.

Hier wird ein weiteres Experiment zur Untersuchung des Einflusses des Rotationswinkels auf die Gesichtererkennung vorgestellt. Dieses unterscheidet sich zumindest in zweifacher Weise von den bisherigen Arbeiten: *i.* anstelle eines Wiedererkennungsexperiments oder eines Übereinstimmungsexperiments wird ein Lernexperiment durchgeführt; *ii.* der Einfluß des Rotationswinkels auf einen postulierten Kodierungs- und einen postulierten Assoziationsprozeß wird untersucht. Personen sollen unter vier Rotationsbedingungen ( $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $180^\circ$ ) Gesicht-Buchstabe-Assoziationen erlernen. In jeder Bedingung wird die Hälfte der Gesichter zweimal präsentiert, einmal in aufrechter Position und einmal in der Frontoparallelen rotiert. Die übrigen Gesichter werden nur einmal präsentiert, aufrecht oder analog rotiert. Der Lernprozeß bei den zweimal präsentierten Gesicht-Buchstabe-Paaren wird als Markov-Modell formuliert, das getrennt einen Assoziations- und einen (Reiz-)Kodierungsprozeß ansetzt, der Lernprozeß bei den einmal präsentierten Gesicht-Buchstabe-Paaren als Alles-oder-nichts-Modell. Die Abhängigkeit der Assoziationsprozesse und des Kodierungsprozesses vom Rotationswinkel wird untersucht. Die bisherigen Befunde zur Inversion und Rotation aus Untersuchungen, die andere experimentelle Designs verwendeten, legen einen Einfluß des Rotationswinkels zumindest auf den Kodierungsprozeß nahe. Dabei sollte der Kodierungsprozeß monoton vom Rotationswinkel abhängen (Valentine & Bruce, 1988; Rock, 1974). Ein Einfluß des Rotationswinkels auf Assoziationsprozesse scheint bisher noch nicht geprüft worden zu sein.

## 2. Ein Markov-Modell zum Diskriminationslernen

Ein Markov-Modell zum Diskriminationslernen wird präsentiert. Es ist für Paarassoziationsexperimente formuliert, bei denen die Reize der Reiz-Antwort-Paare entlang einer Dimension manipuliert sind, womit die Diskriminierbarkeit der Reize verändert werden soll. Derart manipulierte Reize werden im folgenden als verwandte Reize bezeichnet. Das Modell basiert auf einer Theorie des Paarassoziationslernens, die drei unterschiedliche Stufen des Lernprozesses annimmt: Antwortlernen, Reizkodierung und Reiz-Antwort-Assoziation (z. B. Houston, 1986). Im folgenden werden die Antworten als bekannt vorausgesetzt, so daß nur die beiden letzten Stufen relevant sind. Ziel des Modells ist es, Reizkodierung und Assoziationsbildung getrennt dynamisch zu modellieren. Polson, Restle und Polson (1965) präsentieren ein ähnliches Markov-Modell, das als Spezialfall des hier verwendeten Modells aufgefaßt werden kann (vgl. Diskussion). Riefer und Batchelder (1988) präsentieren eine Formalisierung derselben Theorie innerhalb eines statischen multinomialen Modells.

Für ein Reiz-Antwort-Paar wird angenommen, daß es sich zu jedem Durchgang des Lernexperiments in genau einem von drei Zuständen befindet:

- $\bar{A}_p$  — Reiz und Antwort sind nicht miteinander assoziiert;
- $A_p\bar{K}$  — Reiz und Antwort sind assoziiert, der Reiz ist jedoch inadäquat kodiert, d. h. mit dem verwandten Reiz konfundiert;
- $A_pK$  — Reiz und Antwort sind assoziiert, der Reiz ist adäquat kodiert.

Basierend auf diesem dreielementigen Zustandsraum werden dynamische Annahmen über Assoziations- und Kodierungsprozesse gemacht. Für jedes Reiz-Antwort-Paar gilt:

- A 1. Zu Beginn des ersten Durchgangs befindet sich das Paar im Zustand  $\bar{A}_p$ .
- A 2. Befindet sich das Paar zu Beginn eines Durchgangs im Zustand  $\bar{A}_p$ , so kann es in diesem Durchgang assoziiert werden oder nicht;  $\beta_p$  sei die Wahrscheinlichkeit für eine Assoziationsbildung. Dabei kann der Reiz inadäquat ( $A_p\bar{K}$ ) oder adäquat ( $A_pK$ ) kodiert werden;  $\gamma_1$  sei die Wahrscheinlichkeit für eine adäquate Kodierung.
- A 3. Befindet sich ein Paar zu Beginn eines Durchgangs im Zustand  $A_p\bar{K}$ , so kann der Reiz in diesem Durchgang adäquat kodiert werden ( $A_pK$ ) oder nicht ( $A_p\bar{K}$ ); sei  $\gamma_2$  die Wahrscheinlichkeit für eine adäquate Kodierung.
- A 4. Befindet sich ein Paar zu Beginn eines Durchgangs im Zustand  $A_pK$ , so verbleibt es darin.

Die Annahmen A 2—A 4 sind unabhängig vom jeweiligen Stadium des Lernprozesses formuliert, so daß Stationarität impliziert ist. Eine Reihe weiterer impliziter Annahmen ist mit A 2—A 4 verbunden: *i.* Assoziationsbildung ( $\beta_p$ ) und Kodierung ( $\gamma_{1,2}$ ) werden als Alles-oder-nichts-Prozesse angesetzt; mögliche Zwischenstufen werden so jeweils ausgeschlossen. *ii.* Assoziation und Kodierung werden für jedes Paar identisch angesetzt; es wird somit zum einen angenommen, daß es nicht leichtere und schwerere Kodierungen bzw. Assoziationen gibt; zum anderen soll der Lernprozeß eines einzelnen Paares nicht vom Lernprozeß anderer Paare beeinflusst sein; damit werden etwa Interferenzen oder Transfer zwischen Paaren ausgeschlossen. *iii.* Weder Kodierungen noch Assoziationen lösen sich wieder auf; es gibt also kein Vergessen (vgl. allgemein Wickens, 1982).

Mit den Annahmen A 2—A 4 ergibt sich folgende Übergangsmatrix  $T_p$  zur Beschreibung der möglichen Zustandstransformationen eines Reiz-Antwort-Paares für aufeinanderfolgende Durchgänge:

	$\bar{A}_p$	$A_p\bar{K}$	$A_pK$
$\bar{A}_p$	$1-\beta_p$	$\beta_p(1-\gamma_1)$	$\beta_p\gamma_1$
$A_p\bar{K}$	0	$1-\gamma_2$	$\gamma_2$
$A_pK$	0	0	1

Die folgende Annahme A5 bindet die angesetzten Zustände an beobachtbare Ereignisse an. Hierfür wird für jeden Durchgang und jedes Paar der dreielementige Ereignisraum  $\Sigma_p = \{E_1, E_2, E_3\}$  definiert, wobei

- $E_1$  — richtige Antwort auf einen Reiz;  
 $E_2$  — falsche Antwort auf einen Reiz, wobei die gegebene Antwort der auf den verwandten Reiz entspricht (Konfusionsfehler);  
 $E_3$  — sonstige Fehler außer Konfusionsfehler

bezeichnet.

A5. Befindet sich ein Paar im Zustand  $\bar{A}_p$ , so können die richtige Antwort ( $E_1$ ) oder ein Konfusionsfehler ( $E_2$ ) aus der Menge der möglichen Antworten geraten werden mit der gleichen Ratewahrscheinlichkeit für jede Antwortalternative; ansonsten resultiert  $E_3$ ; sei  $g$  die Ratewahrscheinlichkeit. Befindet sich ein Paar im Zustand  $A_p\bar{K}$ , so resultiert ein Konfusionsfehler ( $E_2$ ). Befindet sich ein Paar im Zustand  $A_pK$ , so resultiert eine richtige Antwort ( $E_1$ ).

Es ergibt sich folgende Antwortmatrix  $R_p$ , die für jeden Zustand die möglichen Antworten angibt:

	$E_1$	$E_2$	$E_3$
$\bar{A}_p$	$g$	$g$	$1-2g$
$A_p\bar{K}$	0	1	0
$A_pK$	1	0	0

Damit ist das Modell vollständig formuliert. Es gehört formal der Klasse der Zwei-Stufen-Modelle an (Wickens, 1982).

In der vorliegenden Untersuchung werden die Reize als Gesichter unbekannter Personen und die Antworten als Buchstaben des Alphabets interpretiert. Die Manipulation eines Reizes erfolgt durch Rotation eines Gesichts in der Frontoparallelen. Die nur einmal und mit verschiedenem Rotationswinkel vorkommenden Gesichter eines Gesicht-Buchstabe-Paares werden mit einem Alles-oder-nichts-Modell (Bower, 1961) modelliert. Dieses setzt für jedes Paar einen zweielementigen Zustandsraum an mit

- $\bar{A}_5$  — Reiz und Antwort sind nicht miteinander assoziiert;  
 $A_5$  — Reiz und Antwort sind miteinander assoziiert.

Für jedes Reiz-Antwort-Paar gilt:

- A 6. Zu Beginn des ersten Durchgangs befindet sich das Paar im Zustand  $\bar{A}_S$ .  
 A 7. Befindet sich das Paar zu Beginn eines Durchgangs im Zustand  $\bar{A}_S$ , so kann es in diesem Durchgang assoziiert werden oder nicht;  $\beta_S$  sei die Wahrscheinlichkeit für eine Assoziationsbildung.  
 A 8. Befindet sich ein Paar zu Beginn eines Durchgangs im Zustand  $A_S$ , so verbleibt es darin.

Damit ergibt sich folgende Übergangsmatrix  $T_S$ :

	$\bar{A}_S$	$A_S$
$\bar{A}_S$	$1 - \beta_S$	$\beta_S$
$A_S$	0	1

Als Ereignisraum für jedes Paar und jeden Durchgang wird  $\Sigma_S = \{F_1, F_2\}$  definiert, wobei

- $F_1$  — richtige Antwort auf einen Reiz;  
 $F_2$  — falsche Antwort auf einen Reiz;

bezeichnet.

- A 9. Befindet sich ein Paar im Zustand  $\bar{A}_S$ , so kann die richtige Antwort ( $F_1$ ) aus der Menge der möglichen Antworten geraten werden; ansonsten resultiert  $F_2$ ; sei  $g$  die Ratewahrscheinlichkeit. Befindet sich ein Paar im Zustand  $A_S$ , so resultiert eine richtige Antwort ( $F_1$ ).

Mit A 9 ergibt sich die Antwortmatrix  $R_S$ :

	$F_1$	$F_2$
$\bar{A}_S$	$g$	$1 - g$
$A_S$	1	0

Der Lernprozeß für die gesamten Gesicht-Buchstabe-Paare wird so durch ein zusammengesetztes Markov-Modell modelliert, einem Zwei-Stufen-Modell für zweimal präsentierte Reize und einem Alles-oder-nichts-Modell für einmal präsentierte Reize. Der Parameterraum ist

$$\Omega = \{ \beta_P, \beta_S, \gamma_1, \gamma_2, g | 0 \leq \beta_P, \beta_S, \gamma_1, \gamma_2, g \leq 1 \}.$$



### 3. Methode

#### 3.1 Versuchspersonen

30 Psychologiestudent(inn)en der Universität Regensburg nahmen an dem Experiment teil. Jede(r) Student(in) wurde allen vier Rotationsbedingungen unterzogen. Die Teilnahme an Experimenten ist für die Studenten Zulassungsvoraussetzung für Prüfungen.

#### 3.2 Material

Das Reizmaterial bestand aus 48 für die Versuchspersonen unbekannten Gesichtern. Die Gesichter stammten von Personen beiderlei Geschlechts, neutral im Ausdruck und in Frontalansicht. Sie wurden zufällig auf die vier Rotationsbedingungen ( $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $180^\circ$ ) verteilt. Die Gesichter entstammten Paßphotos, die so ausgeschnitten wurden, daß keine Kleidung mehr sichtbar war. Sie wurden auf weißes Papier geklebt und Diapositive davon angefertigt. Sechs der zwölf Gesichter jeder Bedingung lagen sowohl aufrecht als auch rotiert vor; die restlichen Gesichter waren zur Hälfte rotiert, zur Hälfte aufrecht. Der Rotationswinkel ergab sich aus der jeweiligen Bedingung. Als Antwortmaterial wurden 18 Buchstaben des Alphabets herangezogen. Diese waren für alle vier Rotationsbedingungen gleich.

#### 3.3 Apparat

Das Experiment lief vollständig rechnergesteuert. Die Diapositive wurden über einen KODAK CAROUSEL S-RA 2500 Diaprojektor auf eine weiße Wand projiziert. Die Versuchspersonen gaben ihre Antworten über die Rechnertastatur in den Rechner ein. Die korrekte Antwort wurde dann auf dem Rechnerbildschirm präsentiert.

#### 3.4 Design

Die insgesamt 18 Gesichter jeder Rotationsbedingung (sechs Gesichter mit je zwei Rotationswinkeln, sechs Gesichter mit je einem Rotationswinkel) stellen die Reize für die 18 Reiz-Antwort-Assoziationen dar. Sie wurden in zwei Blöcke von je neun Gesichtern aufgeteilt. Jedem Block wurden von den zweimal präsentierten Gesichtern je drei normal orientierte und drei rotierte Gesichter zufällig zugeordnet. Dabei wurde der Fall ausgeschlossen, daß innerhalb eines Blocks dasselbe Gesicht in zwei Rotationswinkeln vorkommt. Zudem wurden jedem Block von den einmal präsentierten Gesichtern zufällig entweder zwei normal orientierte und ein rotiertes Gesicht oder ein normal orientiertes und zwei rotierte Gesichter zugeordnet.

### 3.5 Versuchsablauf

Zu jeder der vier Rotationsbedingungen gab es eine eigene Experimentalsitzung. Jede Sitzung bestand aus acht Durchgängen, in denen alle Gesichter je einmal präsentiert wurden. Vor Beginn einer (Einzel-)Sitzung wurden die Versuchspersonen auf die verwendeten Buchstaben (Antworten) hingewiesen. Sie wurden instruiert, während der gesamten Sitzung den Kopf gerade zu halten. Auf die besondere Bedeutung dieses Punktes für das Experiment wurde hingewiesen. Auf die Verwendung einer Kopfstütze wurde verzichtet. Es wurde eine Antizipationsmethode angewandt. Während des ersten Durchgangs mußten die Versuchspersonen somit raten. Den Versuchspersonen wurde für zwei sec ein Gesicht präsentiert. Anschließend wurden sie vom Rechner über ein akustisches Signal aufgefordert, den diesem Gesicht zugeordneten Buchstaben einzugeben. Danach wurden der Versuchsperson das Gesicht und der richtige Buchstabe für zwei sec gleichzeitig dargeboten. Der richtige Buchstabe erschien in vergrößerter und leicht lesbarer Form auf dem Bildschirm, der unmittelbar am unteren Rand des präsentierten Diabildes anschloß. Die Versuchsperson mußte so eine kleine Augenbewegung machen, um sowohl Gesicht als auch Buchstabe zu sehen. Nach jedem Durchgang gab es eine Pause von 30 Sekunden, deren Ende durch ein akustisches Signal angekündigt wurde. Eine Sitzung dauerte jeweils etwa 35 Minuten. Vor der ersten Sitzung wurde mit den Versuchspersonen ein Trainingsdurchgang mit acht Gesichtern und acht Buchstaben durchgeführt, die nicht aus dem Experimentalmaterial stammten, um sie mit der Apparatur und der Rückmeldung vertraut zu machen. Innerhalb jeder Sitzung, jedes Durchgangs und jedes Blocks wurde die Reihenfolge der präsentierten Paare zufällig bestimmt. Konstant blieb nur die Zuordnung der Paare in die einzelnen Blöcke. Die Reihenfolge, in der die Versuchspersonen an den Rotationsbedingungen teilnahmen, wurde ebenfalls zufällig bestimmt. Dies diente vor allem dazu, mögliche auftretende Lerneffekte zu kompensieren. Zwischen den Sitzungen lagen bei jeder Versuchsperson wenigstens drei Tage. Das Experiment erstreckte sich für jede Versuchsperson im allgemeinen über etwa drei Wochen. Alle drei Tage wurden die den Gesichtern zuzuordnenden Buchstaben neu permutiert. Nachdem für jede Rotationsbedingung 15 Versuchspersonen das Experiment durchlaufen hatten, wurden die Gesichter neu auf die Bedingungen aufgeteilt.

### 3.6 Statistische Analysen

Für jede der vier Rotationsbedingungen werden für alle acht Durchgänge die absoluten Häufigkeiten  $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8$  ( $k = 1, \dots, 8$ ) der Ereignisse  $E_1, E_2, E_3, E_4, E_5, E_6, E_7, E_8$  für zweimal präsentierte Gesichter und die absoluten Häufigkeiten  $M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6, M_7, M_8$  für einmal präsentierte Gesichter berechnet.

der Ereignisse  $F_1, F_2$  für einmal präsentierte Gesichter, gepoolt über Paare und Personen, bestimmt. Die so resultierenden vier  $8 \times 5$  Datenmatrizen werden über Produkte von zusammengesetzten Multinomialverteilungen statistisch modelliert. Sowohl die Verteilungen der Ereignisse  $E_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) als auch die der Ereignisse  $F_j$  ( $j = 1, 2$ ) werden dabei für jeden Durchgang multinomial angesetzt mit den Parametern  $p_k(E_i)$  und  $q_k(F_j)$ , die jeweils die Wahrscheinlichkeit des Eintretens des jeweiligen Ereignisses im  $k$ -ten Durchgang beschreiben. Unter Zusammensetzung dieser beiden Modelle für jeden Durchgang und der unabhängigen Behandlung der Durchgänge ergibt sich ein Produkt aus acht zusammengesetzten Multinomialverteilungen. Dieses statistische Modell wird als Grundlage für den Test der Anpassungsgüte des formulierten Markov-Modells herangezogen. Dabei ergibt sich für jede der vier Datenmatrizen unter Annahme dieses Modells die Likelihoodfunktion

$$L_S = C \prod_{k=1}^8 p_k(E_1)^{N_{1k}} p_k(E_2)^{N_{2k}} p_k(E_3)^{N_{3k}} q_k(F_1)^{M_{1k}} q_k(F_2)^{M_{2k}},$$

wobei  $C$  eine Konstante ist und  $k$  die einzelnen Durchgänge bezeichnet.

Über die Übergangsmatrizen  $T_p, T_s$  und die Antwortmatrizen  $R_p, R_s$  des zusammengesetzten Markov-Modells wird analog die Likelihoodfunktion  $L_M$  des Markov-Modells angesetzt. Für den dreielementigen Parametervektor  $\mathbf{p}_k = (p_k(E_1), p_k(E_2), p_k(E_3))$  des  $k$ -ten Durchgangs ergibt sich dabei  $\mathbf{p}_k = R_p T_p^{k-1} \mathbf{z}_{1p}$ , wobei  $\mathbf{z}_{1p}$  ein dreielementiger Vektor ist, der die Wahrscheinlichkeit der drei Zustände zum ersten Durchgang angibt (vgl. A 1). Für den zweielementigen Parametervektor  $\mathbf{q}_k = (q_k(F_1), q_k(F_2))$  des  $k$ -ten Durchgangs ergibt sich analog  $\mathbf{q}_k = R_s T_s^{k-1} \mathbf{z}_{1s}$ , wobei  $\mathbf{z}_{1s}$  ein zweielementiger Vektor ist, der die Wahrscheinlichkeit der beiden Zustände zum ersten Durchgang angibt (vgl. A 6; allgemein Wickens, 1982). Beim Modelltest werden die für beide Modelle optimierten Likelihoods  $L_S$  und  $L_M$  über einen Likelihood-Quotienten-Test in Beziehung gebracht. Dabei ist  $-2 \ln L_M / L_S$  approximativ  $\chi^2$ -verteilt. Als Irrtumswahrscheinlichkeit wird das konservative  $\alpha = .1$  gewählt. Die Parameterschätzungen erfolgen durch numerische Optimierung. Parameter  $g$  wird auf  $1/18$  gesetzt, dies entspricht der *a priori* Ratewahrscheinlichkeit.

Bei Beschreibbarkeit der einzelnen Datenmatrizen durch das zusammengesetzte Markov-Modell wird zunächst die Identität der Assoziations- und Kodierungsparameter *innerhalb* jeder Rotationsbedingung geprüft, d. h.  $\beta_p = \beta_s$  bzw.  $\gamma_1 = \gamma_2$ . Dies erfolgt jeweils über einen Likelihood-Quotienten-Test, der prüft, ob das restriktivere Modell (konstante Parameter) die Daten gleich gut beschreibt, wie das allgemeine Modell (variable Parameter). Weiterhin wird geprüft, ob sich Assoziations- und Kodierungsprozesse *über* die Rotationsbedingungen signifikant unterscheiden. Für die Assoziation

wird die Konstanz von  $\beta_p$  bzw.  $\beta_s$  über die Rotationswinkel geprüft. Analog wird für die Kodierungsprozesse verfahren. Hier wird jedoch die simultane Konstanz von  $\gamma_1$  und  $\gamma_2$  über die vier Rotationswinkel geprüft. Auch dies erfolgt jeweils über Likelihood-Quotienten-Tests mit Vergleich des restriktiveren mit dem allgemeineren Modell. Bei Nichtkonstanz der Assoziations- und Kodierungsparameter wird jeweils noch die Linearität der Parameter über die Rotationswinkel getestet. Als Irrtumswahrscheinlichkeit wird stets  $\alpha = .1$  verwendet.

#### 4. Ergebnisse

Tabelle 1 zeigt die Parameterschätzungen für  $\beta_p, \beta_s, \gamma_1$  und  $\gamma_2$  und die  $\chi^2$ -Werte für die vier Rotationsbedingungen. Die statistische Beschreibung der Daten über zusammengesetzte Multinomialverteilungen benötigt 24 Parameter, das Markov-Modell vier Parameter. Der Modelltest wird entsprechend mit 20 Freiheitsgraden durchgeführt. Für alle vier Rotationsbedingungen lassen sich die Daten durch das Markov-Modell beschreiben.

Abbildung 1 zeigt eine graphische Darstellung der Parameterschätzungen für  $\beta_p, \beta_s, \gamma_1$  und  $\gamma_2$  in Abhängigkeit des Rotationswinkels.  $\beta_s$  erweist sich als relativ konstant über die Bedingungen, während  $\beta_p$  mit zunehmendem Rotationswinkel monoton ansteigt. Parameter  $\gamma_1$  nimmt von  $45^\circ$  bis  $135^\circ$  zu und danach leicht ab, während Parameter  $\gamma_2$  mit dem Rotationswinkel monoton ansteigt.

Für jede Rotationsbedingung wurde die Konstanz der Assoziationsparameter geprüft, d. h.  $\beta_p = \beta_s$ . Während sich für den Winkel  $180^\circ$  die Konstanzannahme aufrechterhalten läßt ( $\chi^2(1) = .005$ ), ergeben sich für die Winkel  $45, 90$  und  $135$  Grad signifikante Unterschiede ( $\chi^2(1) = 22.153$ ,  $\chi^2(1) = 6.769$ ,  $\chi^2(1) = 6.123$ ). Die Assoziationsparameter für diese Winkel können so nicht als konstant angesetzt werden. Ferner wurde für alle vier Rotationsbedingungen die Konstanz der Kodierungsparameter getestet, d. h.

Tabelle 1  
Parameterschätzungen für  $\beta_p, \beta_s, \gamma_1$  und  $\gamma_2$  und  $\chi^2$ -Werte der Modelltests für die vier Rotationswinkel

Parameter	$45^\circ$	$90^\circ$	$135^\circ$	$180^\circ$
$\beta_p$	.233	.261	.269	.284
$\beta_s$	.285	.291	.298	.285
$\gamma_1$	.759	.808	.838	.819
$\gamma_2$	.485	.552	.580	.667
$\chi^2(20)$	27.906	18.477	28.407	21.849

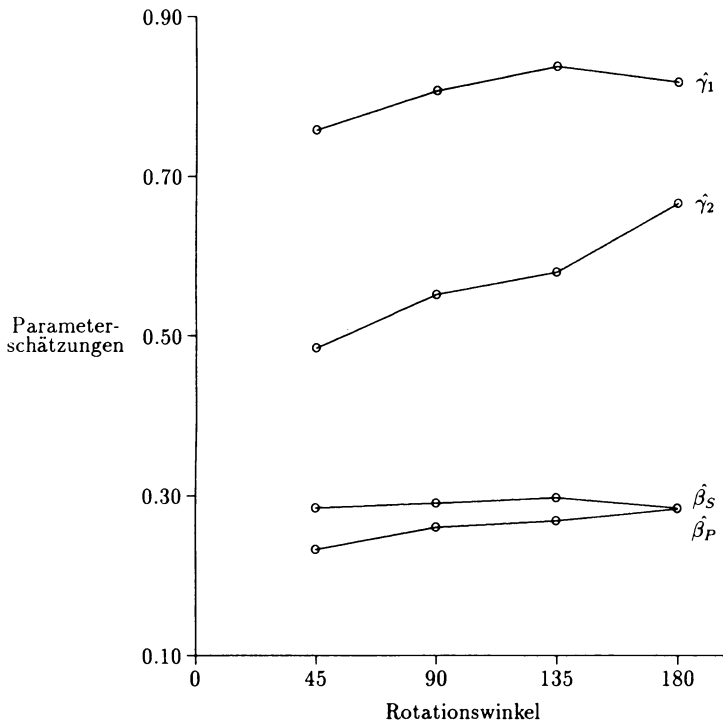


Abb. 1

Graphische Darstellung der Parameter  $\beta_p$ ,  $\beta_s$ ,  $\gamma_1$  und  $\gamma_2$  in Abhängigkeit des Rotationswinkels

$\gamma_1 = \gamma_2$ . Es zeigt sich wiederum ein signifikanter Unterschied für die Winkel 45, 90 und 135 Grad ( $\chi^2(1) = 4.316$ ,  $\chi^2(1) = 3.102$ ,  $\chi^2(1) = 2.719$ ), während die Parameter für 180° als identisch angesetzt werden können ( $\chi^2(1) = 1.132$ ). Damit können die Daten der Rotationsbedingungen unter Zugrundelegung des Markov-Modells für den Rotationswinkel 180° mit nur zwei Parametern beschrieben werden, während die übrigen Rotationswinkel vier Parameter zur Beschreibung erfordern.

Weiter wurde die Konstanz der Parameter über die vier Rotationsbedingungen getestet. Der statistische Test auf Konstanz von  $\beta_p$  über die Rotationswinkel ergibt einen signifikanten Einfluß des Rotationswinkels ( $\chi^2(3) = 32.175$ ), während  $\beta_s$  in Abhängigkeit des Rotationswinkels nicht reliabel variiert ( $\chi^2(3) = 1.285$ ). Auch die simultane Konstanz der Parameter  $\gamma_1$  und  $\gamma_2$  über die Rotationswinkel läßt sich nicht aufrechterhalten ( $\chi^2(6) = 18.260$ ). Die Rotationsbedingungen unterscheiden sich damit sowohl in bezug auf den Assoziationsparameter  $\beta_p$  als auch die Kodierungs-

parameter  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$ , d. h. sie können nicht mit denselben Parametern beschrieben werden.

Parameter  $\beta_p$  ist nicht konstant über die Rotationswinkel, sondern steigt monoton an. Der Anstieg wurde auf Linearität getestet. Der Likelihood-Quotienten-Test ergibt den Wert  $\chi^2(2) = 3.124$ , womit der Anstieg im untersuchten Bereich durch eine lineare Funktion approximiert werden kann. Es wurde ferner getestet, ob  $\gamma_2$  mit dem Rotationswinkel linear ansteigt, wobei  $\gamma_1$  konstant gesetzt wurde. Mit dem Wert  $\chi^2(5) = 3.495$  kann der Anstieg von  $\gamma_2$  bei gleichzeitiger Konstanz von  $\gamma_1$  durch eine lineare Funktion approximiert werden. Die vier untersuchten Rotationsbedingungen können so mit einem konstanten  $\beta_s$ , einem konstanten  $\gamma_1$  und den linear ansteigenden Parametern  $\beta_p$  und  $\gamma_2$  beschrieben werden. Damit werden unter Zugrundelegung des Markov-Modells nur sechs Parameter zur Anpassung der Daten aus allen vier Rotationsbedingungen benötigt.

## 5. Diskussion

Das zusammengesetzte Markov-Modell kann die Daten aller vier Rotationsbedingungen beschreiben. Das Erlernen von Gesicht-Buchstabe-Paaren mit nur einmal präsentiertem Reiz kann so allein über einen Assoziationsprozeß, das Erlernen von Paaren mit zweimal — aufrecht und rotiert — präsentiertem Reiz über getrennte Kodierungs- und Assoziationsprozesse beschrieben werden. Die mit dem Modell verbundenen psychologischen Annahmen lassen sich entsprechend in einer ersten Annäherung aufrechterhalten. Mit diesem Befund werden Theorien des Paarassoziationslernens gestützt, die von getrennten Kodierungs- und Assoziationsprozessen ausgehen (Houston, 1986). Dies steht in Einklang mit Folgerungen von Polson, Restle und Polson (1965) und Riefer und Batchelder (1988). Auch sie fanden innerhalb ihrer Formalisierungen der Theorie empirische Hinweise für diese Trennung.

Der Rotationswinkel beeinflusst den Lernprozeß bei zweimal präsentierten Gesichtern. Dies gilt sowohl für den angesetzten Assoziationsprozeß als auch den angesetzten Kodierungsprozeß. So zeigt sich ein Einfluß des Rotationswinkels auf den Kodierungsparameter  $\gamma_2$ . Der lineare Anstieg von  $\gamma_2$  im untersuchten Winkelbereich ist äquivalent mit einer entsprechenden Zunahme der Wahrscheinlichkeit, daß die inadäquate Kodierung eines richtig assoziierten Reizes adäquat wird. Nimmt man diese Wahrscheinlichkeit als von der Ähnlichkeit der beiden Gesichter abhängig an, so deutet dies auf eine linear abnehmende Übereinstimmung der Kodierungsart eines rotierten Gesichts zu der in seiner aufrechten Position hin. Dies entspricht den Folgerungen von Valentine und Bruce (1988), die ebenfalls eine lineare Ab-

nahme zwischen  $0^\circ$  und  $180^\circ$  fanden, und stimmt zumindest approximativ mit den Ergebnissen von Rock (1974) überein, wenngleich hier ein Vergleich schwierig ist (vgl. Fragestellung). Damit ist der Einfluß des Rotationswinkels auf die Kodierungsart außer in Übereinstimmungs- und Wiedererkennungsdesigns in einem weiteren experimentellen Design validiert.

Der Kodierungsparameter  $\gamma_1$  gibt für ein nicht assoziiertes Paar die Wahrscheinlichkeit an, mit der bei einer Assoziationsbildung der Reiz adäquat kodiert wird.  $\gamma_1$  variiert im Vergleich zum Kodierungsparameter  $\gamma_2$  nur wenig mit dem Rotationswinkel und kann sogar als konstant angesetzt werden. Seine interpretative Bedeutung als dynamischer Kodierungsparameter ist jedoch sehr beschränkt. Das formulierte Markov-Modell ignoriert die Möglichkeit einer adäquaten Reizkodierung vor einer Assoziationsbildung (vgl. unten). Diese Vereinfachung sollte die Wahrscheinlichkeit einer adäquaten Reizkodierung im Falle einer Assoziationsbildung erhöhen, da der Reiz in manchen Fällen schon vorher adäquat kodiert sein wird. Bezieht man diesen Einfluß des vorhergehenden Kodierungsniveaus mit ein, so ist für  $\gamma_1$  im Vergleich zu  $\gamma_2$  eine Einebnung eines möglichen Einflusses des Rotationswinkels zu erwarten. In der Tat zeigen sich nur recht geringe Veränderungen mit dem Rotationswinkel für  $\gamma_1$  und mit dem Rotationswinkel zunehmend kleinere Unterschiede zwischen  $\gamma_1$  und  $\gamma_2$ . Eine genauere Analyse von  $\gamma_1$  erscheint deshalb weniger interessant.

Die Tatsache, daß der Assoziationsparameter  $\beta_5$  über die Rotationswinkel konstant bleibt, zeigt, daß der Rotationswinkel eines präsentierten Gesichts keine Rolle für die Assoziationsbildung zwischen einem Gesicht und einem Buchstaben spielt. Die Modellierung der Assoziation (Alles-oder-nichts-Modell) geht implizit davon aus, daß möglicherweise verschiedenen Kodierungsarten eines Reizes keine wesentliche Bedeutung für die Assoziationsbildung zukommt. Verschiedene Kodierungsarten in Abhängigkeit des Rotationswinkels sind für Gesichter jedoch in der Literatur belegt (Diamond & Carey, 1986) und auch hier nahegelegt (vgl. oben). Sie beeinflussen so die Assoziationsbildung in der Tat nicht.

Für Gesicht-Buchstabe-Paare, deren Reiz zweimal präsentiert wird — aufrecht und rotiert — zeigt sich ein Einfluß des Rotationswinkels auf den Assoziationsprozeß. Parameter  $\beta_p$  steigt mit dem Winkel monoton an, wobei der Anstieg linear approximiert werden kann. *A priori* könnte dies auf unterschiedliche Assoziationswahrscheinlichkeiten für ein Paar in Abhängigkeit des Rotationswinkels seines Gesichts zurückgeführt werden. Die bei einmal vorkommenden Gesichtern gefundene Unabhängigkeit der Assoziation vom Rotationswinkel spricht jedoch gegen diese Interpretation. Zudem würde man mit dieser Interpretation eine Abnahme und keine Zunahme der Assoziation mit dem Rotationswinkel erwarten. Statt dessen weisen die Ergebnisse auf einen Kontexteffekt in bezug auf die Assoziation hin: der Rota-

tionswinkel scheint die Assoziationsbildung für beide Gesichter — aufrecht und rotiert — zu beeinflussen. Während sich für  $180^\circ$  noch kein solcher Einfluß zeigt, nimmt dieser mit Abnahme des Rotationswinkels linear zu. Dieser Kontexteffekt mag wiederum die Wirkung von in Abhängigkeit des Rotationswinkels unterschiedlichen Kodierungsarten widerspiegeln: bei Verwendung unterschiedlicher Antworten wirken ähnliche Kodierungsarten von Reizen eher hemmend auf die Bildung von Reiz-Antwort-Assoziationen als unähnliche Kodierungsarten (Houston, 1986; Osgood, 1949). Somit mag dieses Ergebnis einen weiteren Hinweis darauf darstellen, daß sich die Art der Kodierung eines Gesichts in Abhängigkeit des Rotationswinkels ändert. Zieht man die Möglichkeit einer adäquaten Reizkodierung *vor* der Assoziation in Betracht (vgl. oben), so sollte eine Verringerung des Kontexteffekts resultieren. Bei Verwendung eines für Kodierungsprozesse sensibleren Modells dürfte dieser Effekt deshalb noch deutlicher ausfallen.

Das präsentierte Markov-Modell kann als Erweiterung des Modells von Polson, Restle und Polson (1965) aufgefaßt werden. Polson, Restle und Polson setzen nur einen Kodierungsprozeß an, der im vorliegenden Modell in zwei getrennte Prozesse aufgespalten wird ( $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$ ). Die obigen Ergebnisse untermauern den Vorteil dieser Aufspaltung. Wie oben erwähnt, ignoriert die Interpretation von  $\gamma_1$  als Kodierungsparameter die sehr reale Möglichkeit, daß ein Reiz bereits vor der Assoziation adäquat kodiert sein kann, was eine dynamische Interpretation von  $\gamma_1$  wenig interessant macht. Bedingt durch diese sehr grobe Handhabung der Kodierungsprozesse vor einer Assoziation ist vor allem  $\gamma_2$  ein für Kodierungsprozesse interessanter Parameter innerhalb des Modells. Dies wird durch die Zusammenfassung der beiden Prozesse im Modell von Polson, Restle und Polson (1965) nicht berücksichtigt. Analoges gilt für den statischen Ansatz von Riefer und Batchelder (1988). Als weiterführende Alternative zum hier verwendeten Modell mit der vorgenommenen Aufspaltung der Kodierungsprozesse erscheint die Formulierung eines komplexeren Modells, das Kodierungsprozesse bereits vor einer Assoziation berücksichtigt. Dies führt jedoch sehr schnell zu einem beträchtlichen Anwachsen des Zustandsraums und des Parameter-raums, was das Modell schwer handhabbar machen würde (Wickens, 1982; Restle, 1964). Entsprechend mag das hier verwendete Modell als nützlicher Kompromiß dienen, um trotz eines gewissen Informationsverlustes Assoziations- und Kodierungsprozesse zu trennen.

Leider ist dieser Informationsverlust im vorliegenden Experiment recht groß. Mit den gefundenen hohen Werten für  $\gamma_1$  ist die Wahrscheinlichkeit für eine adäquate Kodierung eines Gesichts bei einer Assoziation bereits ziemlich hoch und die Datengrundlage für  $\gamma_2$  entsprechend etwas schmal. Trotzdem lassen sich über die Rotationsbedingungen noch reliable Unterschiede finden. Für weiterführende Experimente sollte jedoch die Kodie-



rung der Reize experimentell erschwert werden, um so den Informationsverlust vielleicht zu reduzieren. Dies sollte etwa durch eine größere Anzahl zu erlernender Paare oder durch eine Reduktion der Präsentationszeit für die Gesichter erreicht werden. Die Diskriminierbarkeit selbst kann ja nicht erschwert werden.

Zusammenfassend weisen die vorliegenden Ergebnisse auf unterschiedliche Kodierungsarten eines Gesichts in Abhängigkeit seines Rotationswinkels hin. Die Abhängigkeit kann dabei für Winkelgrade zwischen  $0^\circ$  und  $180^\circ$  linear approximiert werden. Dieser Befund stimmt überein mit analogen Ergebnissen von Valentine und Bruce (1988) und auch Rock (1974). Er mag als weiteres Indiz dafür gewertet werden, daß bei Rotation eines Gesichts kein abrupter Wechsel der Verarbeitungsstrategie vollzogen wird (Diamond & Carey, 1986; Valentine & Bruce, 1988; Flin, 1985), womit die Notwendigkeit einer besonderen theoretischen Behandlung der Informationsverarbeitung bei Gesichtern (Yin, 1969; Yin, 1970) nicht gestützt wird. Über die konkreten Veränderungen in der Kodierungsart können keine direkten Hinweise abgeleitet werden. Obgleich Valentine und Bruce (1988) ihre Daten als Stütze für den Ansatz von Flin (1985) und als Beleg gegen den Ansatz von Carey und Diamond (1977) sehen, erscheint dieser Schluß nicht zwingend. So mag etwa, in einer Verallgemeinerung des Carey und Diamond-Ansatzes, der Rotationswinkel zu einer monotonen Störung in der Verarbeitung relationaler Merkmale führen. Dies kann im Rahmen von Wiedererkennungs-, Übereinstimmungs- oder auch Lerndesigns nur schwer beantwortet werden. Statt dessen erscheinen zur Beantwortung dieser Fragen — einer Theorie der Kodierung in Abhängigkeit des Rotationswinkels — andere Vorgehensweisen passender. Die Verwendung von Zerlegungsparadigmen (Müller, 1984) oder Präferenzparadigmen (Suppes, Krantz, Luce & Tversky, 1989) sollten hierzu mehr Klarheit bringen. Derartige Theorien lassen sich dann jedoch an ihren Vorhersagen für unterschiedliche Rotationswinkel messen, wobei insbesondere die Daten von Valentine und Bruce (1988) und auch die hier präsentierten als Gütemaßstab dienen können.

### Summary

30 subjects participated in a discrimination experiment learning face-letter associations under four rotation conditions ( $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $180^\circ$ ). Under each condition two thirds of the faces were presented twice, upright and rotated away from the vertical; the remaining faces were presented once, upright or rotated. Learning is described by a joint Markov model: For faces that are presented twice it assumes a separate association and encoding

process (two-stage-model), for faces that are presented once it assumes an association process (all-or-none-model).

The Markov model fits the data for all four rotation conditions. The angle of rotation does not affect learning for faces that are presented once. For faces that are presented twice it influences both the association and the encoding process. For the angles employed, the effect of rotation can be approximated linearly. The results suggest that the encoding of a rotated face differs increasingly from an upright face as a function of these angles of rotation. This confirms analogous conclusions from mental rotation experiments.

## 6. Literatur

- Bower, G. H. (1961). Application of a model of paired-associate learning. *Psychometrika*, 26, 225—280.
- Carey, S. & Diamond, R. (1977). From piecemeal to configurational representation of faces. *Science*, 195, 312—314.
- Diamond, R. & Carey, S. (1986). Why faces are and are not special: An effect of expertise. *Journal of Experimental Psychology: General*, 115, 107—117.
- Flin, R. H. (1985). Development of face recognition: An encoding switch? *British Journal of Psychology*, 76, 123—134.
- Goldstein, A. G. & Chance, J. (1980). Memory for faces and schema theory. *Journal of Psychology*, 105, 47—59.
- Houston, J. P. (1986). *Fundamentals of Learning and Memory* (3rd ed.). New York: Academic Press.
- Müller, C. (1984). *Mehrdimensionale nicht-numerische Skalierung in der Psychologie*. Göttingen: Hogrefe.
- Osgood, C. E. (1949). The similarity paradox in human learning: A resolution. *Psychological Review*, 56, 132—143.
- Polson, M. C., Restle, F. & Polson, P. G. (1965). Association and discrimination in paired-associates learning. *Journal of Experimental Psychology*, 69, 47—55.
- Restle, F. (1964). Sources of difficulty in learning paired-associates. In: R. C. Atkinson (Ed.), *Studies in mathematical psychology* (pp. 116—172). Stanford, CA: Stanford University Press.
- Riefer, D. M. & Batchelder, W. H. (1988). Multinomial modeling and the measurement of cognitive processes. *Psychological Review*, 95, 318—339.
- Rock, I. (1973). *Orientation and form*. New York: Academic Press.
- Rock, I. (1974). The perception of disoriented figures. *Scientific American*, 230, 78—85.
- Scapinello, K. F. & Yarmey, A. D. (1970). The role of familiarity and orientation in immediate and delayed recognition of pictorial stimuli. *Psychonomic Science*, 21, 329—330.
- Suppes, P., Krantz, D. H., Luce, R. D. & Tversky, A. (1989). *Foundations of Measurement, Vol. II*. San Diego: Academic Press.
- Valentine, T. & Bruce, V. (1988). Mental rotation of faces. *Memory and Cognition*, 16, 556—566.
- Wickens, T. D. (1982). *Models for behavior: Stochastic processes in psychology*. San Francisco: Freeman and Company.

Yin, R. K. (1969). Looking at upside-down faces. *Journal of Experimental Psychology*, 81, 141—145.

Yin, R. K. (1970). Face recognition by brain-injured patients: A dissociable ability? *Neuropsychologica*, 8, 395—402.

Anschrift des Verfassers: Dr. Karl-Heinz Bäuml, Institut für Psychologie, Universität Regensburg, Universitätsstraße 31, D-8400 Regensburg.